



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**

ANA PAULA GUIDI SCHMIDT

**DIMORFISMO SEXUAL DA CABEÇA DA MANDÍBULA EM
MACACOS CAPUCHINOS: CEBUS APPELLA – AVALIAÇÃO POR
MICROTOMOGRÁFIA COMPUTADORIZADA**

**SEXUAL DIMORPHISM OF THE MANDIBULAR CONDYLE ON
CAPUCHINS: CEBUS APPELLA - EVALUATION BY COMPUTERIZED
MICROTOMOGRAPHY**

Piracicaba
2019

ANA PAULA GUIDI SCHMIDT

**DIMORFISMO SEXUAL DA CABEÇA DA MANDÍBULA EM
MACACOS CAPUCHINOS: CEBUS APELLA – AVALIAÇÃO POR
MICROTOMOGRÁFIA COMPUTADORIZADA**

**SEXUAL DIMORPHISM OF THE MANDIBULAR CONDYLE ON
CAPUCHINS: CEBUS APELLA - EVALUATION BY COMPUTERIZED
MICROTOMOGRAPHY**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do Título de Mestra em Biologia Bucodental, na Área de Anatomia.

Dissertation presented to the Piracicaba Dental School of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Dental Biology, in Anatomy area.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Cláudia Rossi

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELO ALUNO ANA PAULA
GUIDI SCHMIDT E ORIENTADA PELA
PROF^a. DR^a. ANA CLÁUDIA ROSSI.

Piracicaba
2019

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CNPq, 131797/2017-4
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2426-0635>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba
Marilene Girello - CRB 8/6159

Schmidt, Ana Paula Guidi, 1994-
Sch52d Dimorfismo sexual da cabeça da mandíbula em macacos capuchinos :
Cebus apella - avaliação por microtomografia computadorizada / Ana Paula
Guidi Schmidt. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Ana Cláudia Rossi.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Odontologia de Piracicaba.

1. Côndilo mandibular. 2. Osso esponjoso. 3. Biomecânica. 4. Cebus
apella. I. Rossi, Ana Cláudia, 1988-. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Sexual dimorphism of the mandibular condyle on capuchins :
Cebus apella - evaluation by computerized microtomography

Palavras-chave em inglês:

Mandibular condyle

Cancellous bone

Biomechanics

Cebus apella

Área de concentração: Anatomia

Titulação: Mestra em Biologia Buco-Dental

Banca examinadora:

Ana Cláudia Rossi [Orientador]

Eduardo Daruge Junior

João Lopes Toledo Neto

Data de defesa: 22-02-2019

Programa de Pós-Graduação: Biologia Buco-Dental

Identificação e informações acadêmicas e profissionais do (a) aluno (a):

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2426-0635>

- Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1574099548978749>



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Odontologia de Piracicaba



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Dissertação de Mestrado, em sessão pública realizada em 22 de Fevereiro de 2019, considerou a candidata ANA PAULA GUIDI SCHMIDT aprovada.

PROF^a. DR^a. ANA CLÁUDIA ROSSI

PROF. DR. JOÃO LOPES TOLEDO NETO

PROF. DR. EDUARDO DARUGE JUNIOR

A Ata da defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Dedico este trabalho

A Deus, que em todo tempo se faz presente com todo
Seu amor.

A minha mãe. Seu sonho de fazer mestrado sendo
realizado por mim. Ela é minha mãe, amiga, colega
de profissão e inspiração.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo nº 131797/2017-4.

À Universidade Estadual de Campinas, na pessoa do Magnífico Reitor Prof. Dr. Marcelo Knobel, e também à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, na pessoa do Senhor Diretor, Prof. Dr. Francisco Haiter Neto.

À Deus, que sempre está à frente de tudo. Ele me ouve, cuida, me ama. Se cheguei aqui, é porque Ele permitiu. Nada foge do controle do Pai.

Aos meus pais, por todo apoio durante meus estudos. Não só nos estudos, mas em todas as áreas da minha vida. Eles que sempre cuidaram de mim com muito amor e me ensinaram o verdadeiro valor da vida. Minha gratidão por ter vocês é enorme!

À minha irmã, que sempre está ao meu lado em todas as situações. Minha irmã, minha amiga, minha companheira.

Aos meus avós, que sempre se lembram de mim em suas orações. Por todo carinho e apoio. Meu amor por vocês é imensurável.

Ao meu amor, que em todo tempo me apóia e desperta o melhor de mim. Sempre pronto a me ouvir, consolar, aconselhar. Obrigada por compartilhar a vida comigo, tornando-a muito mais bonita ao seu lado.

À Coordenadoria de Pós-Graduação, na pessoa da Coordenadora Profa. Dra. Karina Gonzales Silvério Ruiz e equipe técnica Ana Paula Carone, Érica A. Pinho Sinhoreti e Leandro Viganó.

Ao Programa de Pós-graduação em Biologia Buco-dental, na pessoa de Profa. Dra. Ana Paula de Souza.

À minha querida orientadora Profa. Dra. Ana Cláudia Rossi, por todo aprendizado e contribuição ao longo desses anos. Em meu primeiro ano de graduação, me convidou para realizar uma iniciação científica, convite que me rendeu muito aprendizado. Muito mais que uma orientadora, se tornou uma amiga. Gratidão por toda paciência, ajuda, apoio e claro, pela amizade.

Ao Prof. Dr. Alexandre Rodrigues Freire e ao Prof. Dr. Felipe Bevilacqua Prado por todo auxílio e aprendizado. Desde a graduação me acompanharam, em minha iniciação científica, sempre colaborando para meu crescimento e aprendizado. Obrigada pelo carinho e pela amizade!

Aos colegas do Laboratório de Mecanobiologia da FOP/UNICAMP, que tornaram esse período muito mais agradável. Não só pela convivência, mas por todo apoio e ajuda. Crescemos juntos e aprendemos juntos, vivendo experiências novas. Tenho tanto carinho por cada um!

À FOP-UNICAMP. Minha segunda casa, onde me formei, cresci, amadureci e me apaixonei pela odontologia. Foram experiências boas, que me fizeram sorrir, mas também experiências ruins, que me fizeram chorar algumas vezes. Mas considero esse lugar como minha segunda casa, onde cresci e encontrei pessoas que tornaram a caminhada mais leve e bonita. Muita gratidão a todos que cruzaram meu caminho!

RESUMO

A mandíbula recebe diversas cargas em sua estrutura, principalmente provenientes das forças da mastigação. Essas cargas são dissipadas pelo osso. A cabeça da mandíbula é composta em sua maior parte por osso trabecular, recoberto por uma fina camada de osso cortical. A orientação das trabéculas, o espaçamento entre elas, o volume e a densidade do osso trabecular são influenciados por essas cargas. O objetivo foi avaliar o dimorfismo sexual através da análise de parâmetros ósseos da microarquitetura trabecular da cabeça da mandíbula de macacos capuchinos da espécie *Cebus apella*. Para este estudo, foram realizadas microtomografias computadorizadas das cabeças da mandíbula de macacos-prego (n=6, 3 masculinos e 3 femininos). Após, escaneamento e reconstrução das imagens 3D, os parâmetros morfométricos foram obtidos no Software CTAnalyser (SkyScan, Bruker, Bélgica). A análise estatística, realizada no Software R (CRAN Source), seguiu uma distribuição normal, sendo que para quando os dados se mostraram paramétricos aplicou-se o teste t de Student para as variáveis lado e sexo, e para dados não paramétricos foi aplicado o teste de Wilcoxon, para as mesmas variáveis. O nível de significância considerado foi de 5%. Os resultados levaram à conclusão de que há dimorfismo sexual em relação à arquitetura trabecular da cabeça da mandíbula, sendo que os parâmetros que evidenciaram o dimorfismo foram o morfológico de volume ósseo, morfométrico de microarquitetura trabecular, e por fim, morfométrico de conectividade.

Palavras-chave: cabeça da mandíbula; osso trabecular; biomecânica; *Cebus apella*.

ABSTRACT

The mandible receives several loads in its structure, mainly coming from the chewing forces. These loads are dissipated by the bone. The mandibular condyle is composed mostly of trabecular bone, covered by a thin layer of cortical bone. The orientation of the trabeculae, the spacing between them, the volume and the density of the trabecular bone are influenced by these loads. The objective was to evaluate the sexual dimorphism through the analysis of bone parameters of the trabecular microarchitecture of the mandibular condyle of the capuchin monkeys of the *Cebus apella* species. For this study, computerized microtomography of the mandibular condyle of *Cebus apella* monkeys (n = 6, 3 males and 3 females) were performed. After scanning and reconstruction of the 3D images, the morphometric parameters were obtained in the CTAnalyser Software (SkyScan, Bruker, Belgium). The statistical analysis, performed in Software R (CRAN Source), followed a normal distribution, and for when the data were parametric, Student's t test was applied for side and sex variables, and for non-parametric data the Wilcoxon test, for the same variables. The significance level considered was 5%. The results lead to the conclusion that there is sexual dimorphism in relation to the trabecular architecture of the mandible head, and the parameters that showed the dimorphism were the morphological bone volume, morphometric of trabecular microarchitecture, and, finally, morphometric connectivity.

Keywords: mandibular condyle; trabecular bone; biomechanics; *Cebus apella*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 ARTIGO: SEXUAL DIMORPHISM IN THE BONE MICROARCHITECTURE OF THE MANDIBULAR CONDYLE ON CAPUCHINS: CEBUS APELLA – MICRO-CT ANALYSIS	15
3 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27
ANEXOS.....	29
ANEXO 1 – Comprovante de Submissão	29
ANEXO 2 - Certificado de Aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa.....	30
ANEXO 3 - Verificação de Originalidade e Prevenção de Plágio	31

1 INTRODUÇÃO

A articulação temporomandibular (ATM) é uma articulação de muita importância, responsável por funções vitais, como a mastigação e a fonação. É uma articulação altamente sensível à alimentação, pois é usada no processamento de alimentos e sofre compressões durante a mastigação (Wysocki et al., 2018). Composta pela cabeça da mandíbula e pela fossa articular do osso temporal, também apresenta componentes conjuntivos, como a cápsula articular, o disco articular e ligamentos.

O osso trabecular, ou esponjoso, é constituído por um emaranhado de trabéculas, com pequenos espaços entre elas, preenchidos por medula óssea. Diferente do osso cortical, estrutura sólida que não apresenta espaços internos, tem como uma de suas propriedades a elasticidade (Ryan et al., 2010). A arquitetura do trabeculado não é por acaso, ela é formada para resistir às forças que incidem sobre ele. Mitra et al. (2005), sugeriu em seu estudo que a espessura trabecular, o número e o espaço entre as trabéculas, ou seja, a arquitetura trabecular, pode determinar a maneira em que o osso trabecular pode se remodelar frente à estímulos mecânicos.

A cabeça da mandíbula é composta, em sua maior parte, por osso trabecular, envolta por uma delgada camada de osso cortical. Durante o início do movimento de abertura bucal, a cabeça da mandíbula rotaciona, e ao completar o movimento, translada contornando a eminência articular (Ryan et al., 2010). Durante a mastigação, a cabeça da mandíbula recebe diversas cargas mastigatórias, estas são dissipadas ao osso trabecular (Herring e Liu, 2001).

A avaliação do osso trabecular tem sido abordada de duas formas na literatura, através de análise histológica, ou através de micro tomografia computadorizada (micro-CT). Segundo Bouxsein et al. (2010), as técnicas histológicas eram consideradas o padrão para avaliação da arquitetura óssea, tanto do osso trabecular quanto do cortical. A histologia garante informações sobre as células presentes na região a ser avaliada, como também os índices de remodelação óssea, porém falha em relação à avaliação da microestrutura óssea. Isso ocorre porque oferece uma imagem em 2D, enquanto que a micro-CT fornece uma imagem em 3D, de alta resolução, que permite uma avaliação superior da microestrutura óssea. Ainda segundo Bouxsein et al. (2010), a micro-CT tornou-se o padrão ouro para avaliação da morfologia e microarquitetura óssea em camundongos e outros modelos animais pequenos.

Para avaliar o osso trabecular da cabeça da mandíbula, diversos estudos têm sido realizados com diferentes mamíferos, como porcos, ovelhas, ratos e até em humanos (Ryan et al., 2010), através da análise de imagens obtidas por micro-CT. Em seu estudo, Ryan et al. (2010) realizou uma comparação da estrutura do osso trabecular da cabeça da mandíbula em mamíferos, através de alguns estudos realizados. Mesmo com diferenças metodológicas, essas comparações são possíveis. Em humanos, as frações médias do volume do osso trabecular variam de 15 a 21%, dependendo da localização na cabeça da mandíbula (Giesen e van Eijden, 2000). Este valor é inferior ao encontrado em outros estudos. No estudo de Ryan et al., (2010), a média do volume do osso trabecular em macacos foi de 36,4 a 50,7%. Em outro estudo, realizado por Willems et al. (2007) com porcos, este valor foi de 30%. Para ovinos, 53% (Cornish et al., 2006) e para ratos, 70% de volume de osso trabecular na cabeça da mandíbula (Tanaka et al., 1999). Ryan et al. (2010) então sugeriu que esse valor baixo encontrado para humanos talvez seja devido o comportamento alimentar, pois quanto mais cargas mastigatórias, maior reforço ósseo será criado, já que o osso trabecular responde às forças que incidem sobre ele. Neste caso, dos diferentes tipos de mamíferos, os humanos são os que menos ingerem alimentos de maior dureza, que exija esforço mastigatório. Os próprios autores do estudo afirmam que a anatomia da mandíbula dos macacos está relacionada ao comportamento alimentar. Outro parâmetro que foi comparado por Ryan et al. (2010) foi a espessura trabecular. Em macacos e humanos, essa espessura corresponde a ± 1 mm. Em ratos, porcos e ovelhas, em torno de 0,15 e 0,25mm. Ou seja, em macacos e humanos, o espaço entre as trabéculas é maior do que em ratos, porcos e ovelhas. Mais uma vez, a hipótese seria que isto ocorre devido o comportamento alimentar, os tipos de alimentos que são ingeridos e como essas cargas incidem sobre a mandíbula.

Um outro exemplo usado por Ryan et al. (2010) foi baseado em estudos com humanos dentados e desdentados totais. Esses estudos sugerem que há diferenças entre esses dois grupos de indivíduos, através da comparação das propriedades estruturais e mecânicas do osso trabecular. Em indivíduos desdentados ocorre a redução do trabeculado, do volume, da densidade óssea, da rigidez e também redução da força incidente sobre o côndilo mandibular (Giesen et al., 2003). Concluindo o que foi citado neste parágrafo e no parágrafo anterior, com essas informações, pode-se chegar à conclusão de que a magnitude e direção das cargas recebidas pela mandíbula podem produzir mecanicamente importantes diferenças na estrutura do osso trabecular do côndilo mandibular dependendo do tipo de dieta.

Através da comparação realizada por Ryan et al. (2010), pode-se chegar à conclusão de que os resultados obtidos em macacos são semelhantes aos obtidos em humanos. Afinal, os macacos se assemelham em muitas características com os humanos. A espécie *Cebus apella*, é muito comum na América do Sul, o famoso macaco-prego. Alves et al. (2015) realizou um estudo sobre a espécie, determinando sua ampla distribuição geográfica pela região da Amazônia centro-oriental, ocorrendo no Brasil, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e na porção Amazônica da Venezuela e possivelmente, Colômbia. A pelagem apresenta-se comprida e densa, com possível coloração marrom escura em seu tronco e partes ventrais avermelhadas ou amareladas. Já os membros, o topete e a cauda são pretos. Sua dieta é composta principalmente por frutos, incluindo sementes, e insetos. Outros itens compõem a dieta, como flores, brotos, folhas, ovos e pequenos vertebrados, porém, em menor proporção (Alves et al., 2015).

O macaco-prego da espécie *Cebus apella* possui semelhanças com os seres humanos. Por isso, foi selecionado em nosso estudo. Segundo a literatura, essa espécie de macacos vem sendo muito utilizada justamente por se assemelhar muito aos seres humanos. Em um estudo realizado por Moura et al. (2017), macacos-prego foram utilizados para se estudar os índices de deformação miocárdica. Os autores chegaram à conclusão de que os resultados encontrados em macacos-prego são muito semelhantes aos encontrados em humanos. Ainda segundo Moura et al. (2017), o macaco-prego é considerado um tipo de primata muito eficiente para estudos pré-clínicos, devido às semelhanças anatômicas e fisiológicas com os seres humanos.

Existem dois clados distintos de macacos-prego. O primeiro corresponde aos macacos-prego gênero *Cebus*, e o segundo, aos macacos-tufos (robustos ou macios) gênero *Sapajus*. No passado, os autores consideravam *Sapajus* e *Cebus* uma mesma espécie, mas com os estudos que vem sendo desenvolvidos, chegou-se à conclusão de que existem diferenças entre essas espécies (Wright et al., 2015). Segundo Wright et al. (2015), existem diferenças na robustez mandibular, na mecânica dos músculos mastigatórios, na robustez dos dentes caninos, no tamanho das raízes dos dentes, na espessura do esmalte e na área de superfície oclusal dos dentes. Os macacos-capuchinos, do gênero *Sapajus*, diferem dos macacos-prego, do gênero *Cebus*. Macacos-capuchinos possuem mandíbula e sínfise mais largas e profundas, faces mais curtas no sentido ântero-posterior e mais largas médio-lateralmente, maior alavancagem dos músculos masseter e temporal, caninos mais curtos e

espessos, raízes dos caninos maiores, esmalte dental mais espesso e maior área de superfície dos molares. Ainda sobre este estudo, foi possível identificar maior desgaste do esmalte dental nos macacos-capuchinos (*Sapajus*), o que pode sugerir evidências de hábitos alimentares, como consumo de alimentos mais duros.

Os hábitos alimentares influenciam na estrutura óssea, já que forças da mastigação são dissipadas para os pilares ósseos. Os macacos capuchinos do gênero *Sapajus* possuem uma mandíbula mais robusta, se comparada as de outras espécies. Enquanto a maioria das espécies apresentam uma dieta composta por frutas e insetos, os macacos capuchinos *Sapajus* possuem uma dieta diferente, devido a robustez da mandíbula e de seu comportamento exploratório e facilidade no manuseio de ferramentas, que auxiliam na sua busca por alimento. Assim, eles têm acesso à alimentos escondidos, fora do alcance de outros animais não humanos (Lima et al., 2018).

De acordo com Lima et al. (2018), os macacos-prego eram divididos em tufos, quando apresentavam topete na região da cabeça e não-tufos, quando não apresentavam topete. Os macacos-tufo foram separados do gênero *Cebus* e classificados como *Sapajus*, baseando-se nas diferenças no crânio e pelagem. O esqueleto e a mandíbula dos macacos do gênero *Sapajus* são mais robustas, se comparados ao gênero *Cebus*, o que pode ser justificado pelas diferenças nos hábitos alimentares.

Este estudo objetivou avaliar a presença do dimorfismo sexual através da análise de parâmetros ósseos da microarquitetura trabecular da cabeça da mandíbula de macacos capuchinos da espécie *Cebus apella*.

2 ARTIGO: SEXUAL DIMORPHISM IN THE BONE MICROARCHITECTURE OF THE MANDIBULAR CONDYLE ON CAPUCHINS: CEBUS APELLA – MICRO-CT ANALYSIS

SEXUAL DIMORPHISM IN THE BONE MICROARCHITECTURE OF THE MANDIBULAR CONDYLE ON CAPUCHINS: CEBUS APELLA - MICRO-CT ANALYSIS

Artigo científico submetido no periódico “Journal of applied of Oral Sciences” (ANEXO 1)

Authors: Ana Paula Guidi Schmidt¹, Alexandre Rodrigues Freire¹, Rafael Araujo¹, Paulo Roberto Botacin², Felipe Bevilacqua Prado¹, Ana Cláudia Rossi¹

¹Department of Morphology, Anatomy Division, School of Dentistry of Piracicaba, University of Campinas, Piracicaba, São Paulo, Brazil; ² Department Basic Sciences, Araçatuba Dental School, Paulista State University, Araçatuba, São Paulo, Brazil

Corresponding author's email address: Avenida Limeira, n / 901 – Areião. Piracicaba, São Paulo – Brazil. Postal Code: 13414-903

E-mail: rossianac01@gmail.com

ABSTRACT

The mandible receives several loads in its structure, mainly chewing forces, which cause compression forces of the temporomandibular joint (TMJ) region. In the species *Cebus apella* there is the presence of sexual dimorphism. The aim of this study was to evaluate the presence of sexual dimorphism by the analysis of morphometric parameters of the trabecular microarchitecture of the mandibular condyle in capuchin monkeys *Cebus apella* species. For this study, six mandibles (adults, 3 female and 3 male) of capuchins monkeys, *Cebus apella*, were evaluated micro-CT of the mandibles were performed. The mandibles were scanned by micro-CT scanner SkyScan 1178 (SkyScan 1178, Bruker). The morphometric analysis was performed to obtained bone morphometric parameters. The analysis of the data distribution followed a normal distribution, then the Student t test was applied to the side and sex

variables. The significance level considered was 5%. We used the R (CRAN Source) software. The results showed that there is sexual dimorphism in relation to the bone trabecular architecture of the mandibular condyle, and the parameters that showed the sexual dimorphism were the BV, Tb.Th, Tb.N, and Conn. In conclusion, there is presence of sexual dimorphism in relation to the trabecular architecture of the mandibular condyle.

Keywords: mandibular condyle; trabecular bone; biomechanics; *Cebus apella*.

INTRODUCTION

The TMJ is a very important joint, which is responsible for vital functions such as mastication. It is a highly sensitive food joint, as it is used in food processing and undergoes compression during mastication. The TMJ anatomical components are: the mandibular condyle and the joint fossa of the temporal bone, it also presents conjunctive components, such as the joint capsule, the articular disc and ligaments¹.

The mandibular condyle is composed of trabecular bone, surrounded by a thin layer of cortical bone. During the chewing, the mandibular condyle receives several masticatory loads, these are dissipated to the trabecular bone².

Mittra et al.³ (2005) suggested that trabecular thickness, number and space between trabeculae, ie, trabecular architecture, can determine the way in which the trabecular bone can remodel against mechanical stimuli.

The analysis of the trabecular bone has been approached in two ways in the literature, through histological analysis, or through computerized microtomography (micro-CT). According to Bouxsein et al.⁴ (2010), histological techniques were considered the standard for evaluation of bone architecture, both trabecular and cortical bone. The histology provides information about the cells present in the region to be evaluated, as well as the rates of bone remodeling, but fail in relation to the evaluation of the bone microstructure. This is because it offers a 2D image, while the micro-CT provides a high-resolution 3D image that allows for a superior evaluation of the bone microstructure.

To evaluate the trabecular bone, several studies have been performed with different mammals such as pigs, sheep, rats and in humans⁵, using the analysis of images obtained by micro-CT. In humans, the mean fractions of trabecular bone volume range from 15 to 21%, depending on the location within the mandibular condyle⁶. In study by Ryan et al.⁵ (2010), the mean of the trabecular bone volume in monkeys was 36.4 to 50.7%. In another

study, conducted by Willems et al.⁷ (2007) with pigs, this value was 30%. For sheep, 53%⁸ and for rats, 70% volume of trabecular bone in the condyle⁵.

The species *Cebus apella*, is very common in South America, the famous monkey-nail. The males are between 38 and 46 centimeters in length, weighing 2.3 to 4.8 kg, and females, around 1.3 and 3.4 kg. The coat is long and dense, with possible dark brown coloration on its trunk and ventral parts reddish or yellowish. Already the limbs, the tuft and the tail are black. Their diet consists mainly of fruits, including seeds, and insects. Other items make up the diet, such as flowers, shoots, leaves, eggs and small vertebrates, but to a lesser extent⁹.

Masterson et al.¹⁰ reported that New World monkeys are an ideal group to study sexual dimorphism. In the species *Cebus apella* there is the presence of sexual dimorphism, characterized by the difference in size between males and females, with males being larger. Masterson et al.¹¹ investigated cranial features that could be related to sexual dimorphism in *Cebus apella* and *Cebus albifrons*. With the results, the authors concluded that *Cebus apella* is more dimorphic than *Cebus albifrons*, with emphasis on variables related to the masticatory system.

This study evaluated the presence of sexual dimorphism by the analysis of morphometric parameters of the trabecular microarchitecture of the mandibular condyle in capuchin monkeys *Cebus apella* species.

Material and Methods

This study was evaluated by the Animals Ethics Committee (CEUA) of the University of Campinas-UNICAMP (ANEXO 2).

Sample

Six mandibles (adults, 3 female and 3 male) of capuchins monkeys, *Cebus apella*, were evaluated. The mandibles belong to the Nucleus of Procreation of Capuchins Monkeys of the Araçatuba Dental School - Paulista State Univeristy (FOA UNESP).

Micro-CT scan

Microtomography (micro-CT) of the mandibles were performed. We used the micro-CT scanner SkyScan 1178 (SkyScan 1178, Bruker), 65 Kv, with resolution ($1024 \times 1024 \times 1024$ pixels), pixel size of 80 μm . The micro-CT scanner belongs to IB/UNICAMP.

In this study, the region of interest (ROI) was the mandibular condyle, in its entirety (Figure 1).

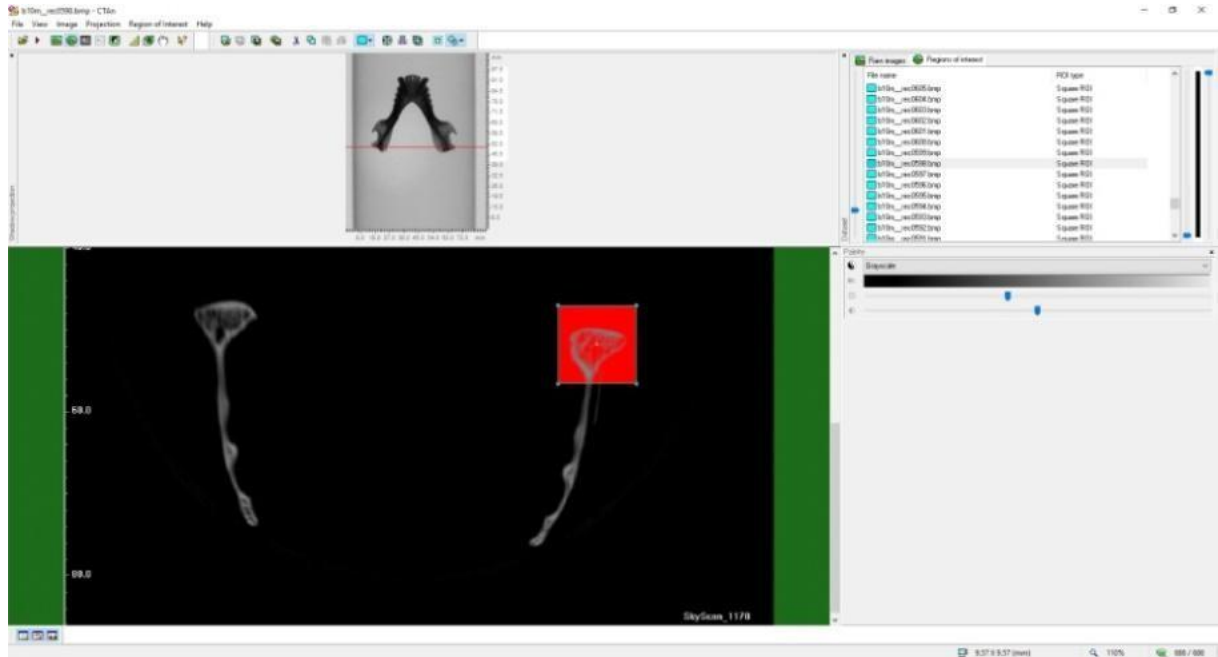


Figure 1. Layout of the software CTAnalyser (SkyScan, Bruker, Belgium) showing the ROI (red colour).

3D reconstruction of images and morphometric parameters evaluation

The images obtained were reconstructed three-dimensionally in the NRecon Software (Bruker, micro-CT). After three-dimensional reconstruction, the software CTAnalyser (SkyScan, Bruker, Belgium) was used to obtain the morphometric analysis. In this software, we selected the ROI defined as the mandibular condyle (right and left) in order to calculate and obtain the bone morphometric parameters.

Bone Morphometric Parameters

According to Bouxsein et al.⁴ (2010), the standard method to describe the bone architecture is the calculation of morphometric indices.

The parameters evaluated were: bone volume (BV), percentage of bone volume (BV / TV), bone surface density (BS / TV), trabecular factor pattern (Tb.Pf), trabecular thickness (Tb.Th), number of trabeculae (Tb.N), trabecular separation (Tb.Sp), anisotropy (DA), total porosity (Po (tot)) and connectivity (Conn)⁴.

Analysis of results

The analysis of the data distribution followed a normal distribution, then the Student t test was applied to the side and sex variables when the data were parametric and the Wilcoxon test, for the same variables, when the data were non-parametric. The significance level considered was 5%. We used the R (CRAN Source) software.

RESULTS

In each morphometric parameter, the tables presented show the mean of the values obtained for each variable, with table 1 for the side and table 2 for the sex.

Table 1. Mean and p values of the parameters in relation to the side.

	RIGHT		LEFT		
	Mean	SD	Mean	SD	p value
BV (mm ³)	532.79	260.82	551.72	255.07	0.44171
BV/TV (%)	81.92	3.59	83.21	2.72	0.26557
BS/TV (1/mm)	1.2507	0.1383	1.2115	0.1567	0.36162
Tb.Pf (1/mm)	0.3717	0.4255	0.4812	0.2512	0.30247
Tb.Th (mm)	2.834	0.435	3.020	0.511	0.03125* ‡
Tb.N (1/mm)	0.294	0.040	0.281	0.042	0.03125* ‡

Tb.Sp (mm)	1.103	0.189	1.048	0.143	0.6875 <i>t</i>
DA	1.583	0.232	1.632	0.093	0.67532
Po(tot) (%)	18.077	3.594	16.785	2.723	0.26557
Conn	77.83	56.76	53.67	31.99	0.07990

* p-value with statistically significant difference.

t – Non-parametric distribution (test of Wilcoxon).

Table 2. Mean and p values of the parameters in relation to the sex.

	FEMALE		MALE		
	Mean	SD	Mean	SD	P value
BV (mm ³)	361.93	74.62	722.58	222.92	0.00865* <i>t</i>
BV/TV (%)	83.33	2.03	81.81	3.98	0.42936
BS/TV (1/mm)	1.2926	0.0853	1.1697	0.1681	0.15190
Tb.Pf (1/mm)	0.5304	0.2740	0.3225	0.3878	0.31148
Tb.Th (mm)	2.656	0.125	3.197	0.528	0.05349*
Tb.N (1/mm)	0.314	0.012	0.261	0.040	0.02060*
Tb.Sp (mm)	1.065	0.167	1.086	0.173	0.84074
DA	1.670	0.197	1.545	0.126	0.81818 <i>t</i>

Po(tot)	16.670	2.030	18.193	3.977	0.42936
(%)					
Conn	27.17	13.01	104.33	29.22	0.00062*

* p-value with statistically significant difference.

t – Non-parametric distribution (test of Wilcoxon).

Volume Morphometric Parameters

For the morphometric parameter BV (mm³), when the male and female sexes were compared, the Wilcoxon test ($p = 0.00865$) showed evidence of statistical differences between the samples. There were no statistical differences for the side variable (t test: $p = 0.44171$).

For the BV / TV morphometric parameter (%), for both, the sex variable (t test: $p = 0.42936$) and the variable side (test t: $p = 0.26557$), there were no statistical differences between the samples.

Morphometric Parameter of Density

For the BS / TV morphometric parameter (1 / mm), when comparing the male and female sex, there was no evidence of statistical differences between the samples (test t: $p = 0.15190$). There were statistical differences for the side variable (t test: $p = 0.36162$).

Trabecular Microarchitecture Morphometric Parameters

For the morphometric parameter Tb.Pf (1 / mm), for both, the sex variable (t test: $p = 0.31148$) and the variable side (test t: $p = 0.30247$) there were no statistical differences between the samples.

For the morphometric parameter Tb.Th (mm), when the male and female sexes were compared, the t test ($p = 0.05349$) showed evidence of statistical differences among the samples. The Wilcoxon test showed statistical differences for the side variable ($p = 0.03125$).

For the morphometric parameter Tb.N (1 / mm), when the male and female sexes were compared, the t test ($p=0.02060$) showed evidence of statistical differences. The Wilcoxon test showed statistical differences for the side variable ($p = 0.03125$).

Morphometric Connectivity Parameters

For the Conn morphometric parameter, when the male and female sexes were compared, the t test ($p = 0.00062$) showed evidence of statistical differences between the samples. The Wilcoxon test showed that there were no statistical differences for the side variable ($p = 0.07990$).

DISCUSSION

According to Bousxein et al.⁴ (2010), the micro-CT is a very efficient way to evaluate the trabecular bone. Ryan et al.⁵ (2010) also reached this conclusion, performed to the comparison with the various studies of trabecular architecture in other animals, including humans. While the histology provides a 2D image, the micro-CT offers a 3D image, which allows a better evaluation of the trabecular architecture.

The dietary habits of Cebus genus can justify the present results. In general, for both males and females, the skull and the mandible are robust compared to other species¹². The female mandible is delicate and receives compression forces during mastication¹. The mandibular condyle has a smaller amount of BV, less space between the trabeculae, less trabecular thickness and less connective tissue between the trabeculae (connectivity). Probably, is due to the muscular strength, which if compared to that of the male, is smaller. The mandibular condyle is more developed in males because incoming forces are larger and more intense.

Sexual dimorphism is related as a condition generally present in primates^{13, 14}. Flores and Casinos¹⁵ (2011) related that the cranial growth pattern described in Cebus apella specie showed sexual differences. Most mammals, including capuchins, have four pairs of chewing muscles. These are the masseter, temporal, medial pterygoid and lateral pterygoid muscles¹⁶. Jaw strength is associated with muscle strength, both in males and females, and is higher in males, as it was possible to verify in this study. At the mandibular condyle, the inferior bundle of the lateral pterygoid muscle is inserted, which also inserts into the disc and into the joint capsule. Larger tractions in this region can be justify the mandibular condyle being more robust and having greater bone volume, number of trabeculae and thickness of trabeculae in males¹⁷.

The dietary habits influence the muscular activity and in the bone form. The Cebus apella species have a diet with hard foods, they have an easy way of manipulating tools

to find hidden foods¹². A study by Vinyard et al.¹⁸ (2003) showed that differences in the skeleton of exploratory and non-exploiting monkeys are functionally linked to their eating habits.

According to Lima et al.¹² (2018), the capuchin monkeys were divided into tufts, when they had a tuft in the head region and non-tufts, when they did not present tuft. The tufted monkeys were separated from the genus *Cebus* and classified as *Sapajus*, based on differences in skull and coat. The skeleton and jaw of the monkeys of the genus *Sapajus* are more robust when compared to the genus *Cebus*, which can be justified by differences in eating habits.

In our study, the mandibles of *Cebus apella* were from a Nucleus of Procreation. It is important to emphasize that the eating habits of these monkeys differ from those found in native forests. As these monkeys inhabit the campus of a University, contact with humans is very frequent. Thus, their diet is not similar to that of native monkeys, presenting a food very similar to that of the human being. If we compare the results obtained in this study with other studies¹⁹ it can be noted that the values obtained are different, and in this study, the values are lower.

CONCLUSION

In conclusion, there is sexual dimorphism in trabecular architecture of the mandibular condyle of the *Cebus apella*. The sexual dimorphism was evident in the parameters: bone volume, being higher in males; trabecular thickness and number of trabeculae, with a greater thickness of trabeculae in males and a greater number of trabeculae in females; the connectivity was high in males.

References

1. Wysocki MA, Tseng ZJ. Allometry predicts trabecular bone structural properties in the carnivoran jaw joint. *PLoS ONE*. 2018; 13(8): e0202824.
2. Herring SW, Liu ZJ. Loading of the temporomandibular joint: anatomical and in vivo evidence from the bones. *CellsTissuesOrgans*. 2001; 169:193–200.
3. Mittra E, Rubin C, Qin Y-X. 2005. Interrelationships of trabecular mechanical and microstructural properties in sheep trabecular bone. *J Biomech* 38:1229-37.
4. Bouxsein ML, Boyd SK, Christiansen BA, Guldberg RE, Jepsen KJ, Muller R. Guidelines for Assessment of Bone Microstructure in Rodents Using Micro-Computed Tomography. *J Bone Miner Res*. 2010 Jul;25(7):1468-86.
5. Ryan TM, Colbert M, Ketcham RA, Vinyard CJ. Trabecular Bone Structure in the Mandibular Condyles of Gouging and Nongouging Platyrrhine Primates. *Am J Phys Anthropol*. 2010 Apr;141(4):583-93.
6. Giesen EB, van Eijden TM. The three-dimensional cancellous bone architecture of the human mandibular condyle. 2000; *J Dent Res*. 79:957–63.
7. Willems NM, Mulder L, Langenbach GE, Grunheid T, Zentner A, van Eijden TM. Age-related changes in microarchitecture and mineralization of cancellous bone in the porcine mandibular condyle. *J Struct Biol*. 2007; 158:421-27.
8. Cornish RJ, Wilson DF, Logan RM, Wiebkin OW. Trabecular structure of the condyle of the jaw joint in young and mature sheep: a comparative histomorphometric reference. *Arch Oral Biol*. 2006; 51:29–36.
9. Alves SL, Buss G, Ravetta AL, Messias MR, Carvalho AS. 2015. Avaliação do Risco de Extinção de *Sapajus apella* (Linnaeus, 1758) no Brasil. Processo de avaliação do risco de extinção da fauna brasileira. *ICMBio*. [acesso em 2018 jun 25]. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/estado-de-conservacao/7269-mamiferos-sapajus-apella-macaco-prego.html>.
10. Masterson TJ, Hartwig WC. Degrees of sexual dimorphism in *Cebus* and other New World monkeys. *Am J Phys Anthropol*. 1998 Nov;107(3):243-56.
11. Masterson TJ. Sexual dimorphism and interspecific cranial form in two capuchin species: *Cebus albifrons* and *C. apella*. *Am J Phys Anthropol*. 1997 Dec;104(4):487-511.
12. Lima MGM, Silva-Júnior JS, Černý D, Buckner JC, Aleixo A, Chang J, Zheng J, Alfaro ME, Martins A, Di Fiore A, Boubli JP, Alfaro JW. A phylogenomic perspective on

the robust capuchin monkey (*Sapajus*_ radiation: First evidence for extensive population admixture across South America. *Mol Phylogenet Evol.* 2018 Jul;124:137-150.

13. Leigh SR. Patterns of variation in the ontogeny of primate body size dimorphism. *J Hum Evol.* 1992; 23:27–50.

14. Ravosa MJ, Ross CF. Craniodental allometry and heterochrony in two howler monkeys: *Alouatta seniculus* and *A. palliata*. *Am J Primatol.* 1994; 33:277–99.

15. Flores D, Casinos A. Cranial ontogeny and sexual dimorphism in two new world monkeys: *Alouatta caraya* (Atelidae) and *Cebus apella* (Cebidae). *J Morphol.* 2011 Jun;272(6):744-57.

16. Turnbull WD. Mammalian masticatory apparatus. *Fieldiana Geol.* 1970; 18:1–356.

17. Greaves WS. Location of the vector of jaw muscle force in mammals. *J Morphol.* 2000 Mar;243(3):293-9.

18. Vinyard CJ, Wall CE, Williams SH, Hylander WL. A comparative functional analysis of the skull morphology of tree gouging primates. *Am J Phys Anthropol.* 2003 Feb;120(2):153-70.

19. Prado FP, Freire AR, Rossi AC, Ledogar JA, Smith AL, Dechow PC, Strait DS, Voigt T, Ross CF. Review of in vivo bone strain studies and finite element models of the zygomatic complex in humans and nonhuman primates: implications for clinical research and practice. *The Anatomical Record.* 2016; 299:1753-1778.

3 CONCLUSÃO

Conclui-se que há a presença de dimorfismo sexual em relação à orientação trabecular, volume ósseo e conectividade da cabeça da mandíbula.

O dimorfismo sexual ficou evidente nos parâmetros: morfológico de volume BV (volume ósseo), sendo maior em machos; morfométrico de microarquitetura trabecular Tb.Th (espessura trabecular) e Tb.N (número de trabéculas), sendo maior espessura das trabéculas em machos e maior número de trabéculas em fêmeas; morfométrico de Conn (conectividade), sendo maior em machos.

REFERÊNCIAS¹

Alves SL, Buss G, Ravetta AL, Messias M.R, Carvalho AS. Avaliação do Risco de Extinção de **Sapajus apella** (Linnaeus, 1758) no Brasil. Processo de avaliação do risco de extinção da fauna brasileira. ICMBio. 2015. [acesso em 2018 jun 25] Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/estado-de-conservacao/7269-mamiferos-sapajus-apella-macaco-prego.html>.

Bouxsein ML, Boyd SK, Christiansen BA, Guldberg RE, Jepsen KJ, Muller R. Guidelines for Assessment of Bone Microstructure in Rodents Using Micro-Computed Tomography. *Journal of Bone and Mineral Research*, Vol. 25, No. 7, July 2010, pp 1468–1486.

Cornish RJ, Wilson DF, Logan RM, Wiebkin OW. Trabecular structure of the condyle of the jaw joint in young and mature sheep: a comparative histomorphometric reference. *Arch Oral Biol*, 2006. 51:29–36.

Giesen EB, van Eijden TM. The three-dimensional cancellous bone architecture of the human mandibular condyle. *J Dent Res*, 2000. 79:957–963.

Giesen EB, Ding M, Dalstra M, van Eijden TM. Reduced mechanical load decreases the density, stiffness, and strength of cancellous bone of the mandibular condyle. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2003. 18:358–363.

Herring SW, Liu ZJ. Loading of the temporomandibular joint: anatomical and in vivo evidence from the bones. *Cells Tissues Organs*, 2001. 169:193–200.

Lima MGM, Silva-Júnior JS, Černý D, Buckner JC, Aleixo A, Chang J, Zheng J, Alfaro ME, Martins A, Di Fiore A, Boubli JP, Alfaro JWL. A phylogenomic perspective on the robust capuchin monkey (*Sapajus* radiation: First evidence for extensive population admixture across South America. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2018. 124 (2018) 137–150.

Masterson TJ. Sexual dimorphism and interspecific cranial form in two capuchin species: *Cebus albifrons* and *C. apella*. *Am J Phys Anthropol*. 1997 Dec;104(4):487-511.

Masterson TJ, Hartwig WC. Degrees of sexual dimorphism in *Cebus* and other New World monkeys. *Am J Phys Anthropol*. 1998 Nov;107(3):243-56.

Mittra E, Rubin C, Qin Y-X. Interrelationships of trabecular mechanical and microstructural properties in sheep trabecular bone. *J Biomech*, 2005. 38:1229–1237.

¹De acordo com as normas da UNICAMP/FOP, baseadas na padronização do International Committee of Medical Journal Editors – Vancouver Group. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o PubMed.

Moura LC, Rodrigues RPS, Silva ABS, Pessoa GT, Sousa FCA, Alves JJRP, Neto LB, Macedo KV, Vieira MC, Alves FR. Standard Echocardiography, Strain and Strain Rate by Two-Dimensional Speckle Tracking in Capuchin Monkey (*CebusApella*, Linnaeus, 1758). *Revista DIC*, 2017. DOI: 10.5935/2318-8219.20180004.

Prado FP, Freire AR, Rossi AC, Ledogar JÁ, Smith AL, Dechow PC, Strait DS, Voigt T, Ross CF. Review of in vivo bone strain studies and finite element models of the zygomatic complex in humans and nonhuman primates: implications for clinical research and practice. *The Anatomical Record*, 2016. 299:1753-1778.

Ryan TM, Colbert M, Ketcham RA, Vinyard CJ. Trabecular Bone Structure in the Mandibular Condyles of Gouging and Nongouging Platyrrhine Primates. *American Journal of Physical Anthropology*, 2010. 141:583-593.

Tanaka M, Ejiri S, Nakajima M, Kohno S, Ozawa H. Changes of cancellous bone mass in rat mandibular condyle following ovariectomy. *Bone*, 1999. 25:339–347.

Vinyard, CJ, Wall CE, Williams SH, Hylander WL. A comparative functional analysis of the skull morphology of tree gouging primates. *Am J Phys Anthropol*. 2003. 120:153–170.

Willems NM, Mulder L, Langenbach GE, Grunheid T, Zentner A, van Eijden TM. Age-related changes in microarchitecture and mineralization of cancellous bone in the porcine mandibular condyle. *J StructBiol*, 2007. 158:421–427

Wright KA, Wright BW, Ford SM, Fragaszy D, Izar P, Norconk M, Masterson T, Hobbs DG, Alfaro ME, Lynch Alfaro JW. The effects of ecology and evolutionary history on robust capuchin morphological diversity. *Mol PhylogenetEvol*. 2015 Jan;82 Pt B:455-66. doi: 10.1016/j.ympev.2014.08.009. Epub 2014 Sep 4.

Wysocki MA, Tseng ZJ (2018). Allometry predicts trabecular bone structural properties in the carnivoran jaw joint. *PLoS ONE*, 2018. 13(8): e0202824.

ANEXO 1 – Comprovante de Submissão

ScholarOne Manuscripts™ Ana Rossi ▾ Instructions & Forms Help Log Out

SciELO Journal of Applied Oral Science

Home Author

Author Dashboard

Author Dashboard

- 1 Submitted Manuscripts >
- 2 Manuscripts with Decisions >
- 1 Manuscripts I Have Co-Authored >
- [Start New Submission](#) >
- [Legacy Instructions](#) >
- [5 Most Recent E-mails](#) >

Submitted Manuscripts

STATUS	ID	TITLE	CREATED	SUBMITTED
ADM: Ferraz, Valéria	JAOS-2019-0085	SEXUAL DIMORPHISM IN THE BONE MICROARCHITECTURE OF THE MANDIBULAR CONDYLE ON CAPUCHINS: CEBUS APELLA - MICRO-CT ANALYSIS View Submission	10-Feb-2019	10-Feb-2019
• Awaiting Admin Processing		Cover Letter		

ANEXO 2 - Certificado de Aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa



UNICAMP



CEUA/UNICAMP

INFORMAÇÃO

A Comissão de Ética no Uso de Animais da UNICAMP - CEUA/UNICAMP - esclarece que não há necessidade de submeter o projeto intitulado "Avaliação da arquitetura trabecular da cabeça da mandíbula de macacos da espécie *Sapajus apella*", de responsabilidade da Profa. Dra. Ana Claudia Rossi e Ana Paula Guidi Schmidt, para análise desta Comissão.

Justifica-se por se tratar de manipulação de crânios secos de macacos da espécie *Sapajus apella*, cedidos pelo Núcleo de Procriação de Macacos-Prego da Faculdade de Odontologia de Araçatuba, UNESP, não havendo na UNICAMP manipulação *in vivo*.

Campinas, 07 de dezembro de 2018.

Prof. Dr. WAGNER JOSÉ FÁVARO
Coordenador da CEUA/UNICAMP

ANEXO 3 – Verificação de originalidade e prevenção de plágio.

DIMORFISMO SEXUAL DA CABEÇA DA MANDÍBULA EM MACACOS CAPUCHINOS: CEBUS APELLA – AVALIAÇÃO POR MICROTOMOGRFIA COMPUTADORIZADA

RELATÓRIO DE ORIGINALIDADE

24%	22%	20%	14%
ÍNDICE DE SEMELHANÇA	FONTES DA INTERNET	PUBLICAÇÕES	DOCUMENTOS DOS ALUNOS

FONTES PRIMÁRIAS

1	repositorio.unicamp.br Fonte da Internet	2%
2	justinledogar.weebly.com Fonte da Internet	1%
3	usir.salford.ac.uk Fonte da Internet	1%
4	www.ideals.illinois.edu Fonte da Internet	1%
5	dare.uvu.vu.nl Fonte da Internet	1%
6	www.pubmedcentral.nih.gov Fonte da Internet	1%